١٢٤٩٥

دانشگاه یزد
دانشکده فیزیک

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
فیزیک- حالت جامد

بررسی اثرات گرمایی در لیزرهای حالت جامد Nd:YAG با دمش جانبی پالسی لامپ درخش

استاد راهنما: دکتر حسین مختاری

استاد مشاور: دکتر محمد صبائیان

پژوهش و نگارش: لیلا شاهمندی

مرکز اطلاعات و مدارک علمی مازندران
۱۳۸۸/۷/۱

دیماه ۱۳۸۷

۱۲۶۹۴۵

تقدیم به یگانه های زندگی ام

پدرم، که سرافراز زیستن را به من آموخت،

مادرم، الهه مهربانی که وجودم لبریز از محبتهای اوست،

به پاس تمام دلواپسی ها، امیدها و آرزوهای بی پایان آن ها برای من

و

همسرم

که آهنگ عشق و مهربانی را همواره در گوشم زمزمه میکند.

به نام پروردگار یکتا

برگی دیگر از تقویم زندگی ورق خورد و در آستانه آغاز فصلی دیگر ایستاده‌ام، اما حرفهای ناگفته زیادی باقی مانده. حرفهایی که از اعماق وجودم سرچشمه می‌گیرد و هیچ‌گاه کلمات قادر به توصیف چنین احساساتی نبوده‌اند. اما اکنون ابزاری در دست نیست؛ پس **سپاس**

سپاس آن بی همتایی را که سردی وجودم را با گرمای عشقش جانشین کرد. او را سپاس می‌گویم که مرا لایق آموختن کرد انید؛ او را که تجلی وجودش در دو گوهر گرانمایه زندگی‌ام، برایم نعمت بزرگی بود؛ پدر و مادر عزیزم که اسوه ایثار و عشق‌اند، هزاران بار دستان پر مهرشان را می‌بوسم.

همچنین از برادر و خواهر عزیزم که پشتیبانی‌های بی‌دریغشان همواره مایه دلگرمی‌ام بوده، متشکرم.

از استاد عزیزم جناب آقای دکتر مختاری سپاسگزارم و برای ایشان آرزوی سلامتی و موفقیت دارم. همچنین از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر صبائیان که در انجام مراحل مختلف تحقیق مساعدت‌های بیشماری را مبذول فرمودند و افتخار شاگردی ایشان، فرصتی بی نظیر و ارزشمند برای من بوده است.

مراتب امتنان خویش را تقدیم جناب آقای مهندس هنرآسا می‌دارم که از آغاز راه تا پایان، با در اختیار گذاشتن تجارب و دانسته‌های علمی خود همواره مراقرین لطف خویش فرمودند و در این راه پشتوانه و حامی استوار من بودند. همچنین از خانواده همسرم متشکرم و برایشان آرزوی سلامتی و سرافرازی دارم. و در ادامه از همراهی برادر همسرم (در دانشگاه شیراز) کمال تشکر را دارم.

آخرین کلام من با تو ست همسرم، ای مهربان همراه

من با توام، تو با من هر جا که آسمان هست،

هر جا ز مهربانی یک ذره‌ای نشان هست.

به خاطر همه فداکاریت سپاسگزارم و صبر زیبای تو را می‌ستایم.

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی	**صورتجلسه دفاعیه پایان نامه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد**	شناسه: ب/ک/۳

جلسه دفاعیه پایان نامه تحصیلی آقای/ خانم: *لیلا شاهمندی* دانشجوی کارشناسی ارشد

رشته/گرایش: فیزیک حالت جامد

تحت عنوان:

بررسی اثرات گرمایی در لیزرهای حالت جامد Nd :YAG با دمش جانبی پالسی لامپ درخش

و تعداد واحد: ۶ درتاریخ ۱۳۸۷/۱۰/۱۵ باحضور اعضای هیأت داوران (به شرح ذیل) تشکیل گردید.

پس از ارزیابی توسط هیأت داوران، پایان‌نامه با نمره: به عدد ۱۹/۴۰ به حروف نوزده وچهل صدم

و درجه عالی مورد تصویب قرارگرفت.

عنوان	نام و نام خانوادگی	امضاء
استاد/ استادان راهنما:	دکتر حسین مختاری	
استاد/ استادان مشاور:	دکتر محمد صبائیان	
متخصص وصاحبنظرداخلی:	دکتر محمد علی صادق زاده	
متخصص و صاحبنظرخارجی:	دکتر حمید نادگران	

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه (ناظر)

نام ونام خانوادگی: محمد رضا احمدی زند

امضاء:

چکیده

در طراحی لیزرهای حالت جامد پرتوان باید اثرات ناشی از تولید گرما را در ماده فعال لیزری مورد بررسی قرار داد. این گرما باعث ایجاد اثرات مخرب گرمایی شده و در نتیجه اعوجاج جبهه موج، تغییر در نمایه‌ی لیزر و واگرایی پرتوها را به دنبال خواهد داشت. در این پایان‌نامه توزیع دما برای لیزر حالت جامد Nd:YAG با دمش جانبی لامپ درخش تک پالس بلند محاسبه شده است. در معادله گرما برای چشمه گرمایی- با فرض طول پالس $150\mu s$- عبارتی بصورت حاصلضرب یک تابع گاوسی از زمان در یک تابع نمایی از مکان تقریب زده شده و سپس با توجه به شرط مرزی دمای ثابت (فرض یک سیستم خنک‌کننده ایده‌ال با ضریب همرفت نامتناهی)، تابع دما را بصورت حاصلضرب تابع مکانی بسل در یک تابع زمانی مجهول پیش‌بینی کرده که قسمت زمانی آن با توجه به شرط اولیه و با حل معادله‌ی گرما بدست آمده است. در ادامه برای اطمینان، شکل توزیع دمای بدست آمده از حل تحلیلی با شکل توزیع دمای بدست آمده از حل عددی به روش عناصر محدود، با یکدیگر مقایسه شده و توافق خوبی مشاهده شد. با توجه به تابع دمای محاسبه شده، تنش‌های القایی شعاعی، مماسی و طولی درون میله بدست آمده و با محاسبه تغییرات ضریب شکست و اختلاف فاز ناشی از آن، فاصله کانونی ناشی از اثر پاشندگی گرمایی و اثر انتها مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که با حرکت قله دما از سمت نقاط سطحی به طرف مرکز، میزان تنش ابتدا در نزدیک سطح میله و سپس در مرکز آن منفی بوده و میله را متراکم میسازد و با گذشت زمان و کاهش دما از مقدار آن کاسته می‌شود. همچنین با حرکت قله دما محیط شبه عدسی تغییر علامت می‌دهد، فاصله کانونی برای زمان‌های اولیه دمش، منفی و برای زمان‌های بزرگتر تغییر علامت داده و مثبت می‌شود.

توزیع دما تحت شرط مرزی همرفت دما نیز محاسبه شده، سپس تنش‌های القایی و اثر عدسی گرمایی برای سیستم‌های خنک‌کننده مختلف، با یکدیگر مقایسه شده که نتایج حاصل، دلالت بر این دارد که در یک سیستم خنک کننده با ضریب همرفت بالاتر، انباشت گرما درون میله کمتر و میزان تنش ناشی از توزیع غیر یکنواخت دما کاهش یافته، در نتیجه کیفیت پرتوی لیزری خروجی افزایش می‌یابد.

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه
فصل اول: مقدمه.....۱
۱-۱ مقدمه.....۲
۱-۲ مروری بر تحقیقات گذشته.....۵
۱-۳ آنچه در این رساله خواهد آمد.....۷

فصل دوم: لیزرهای حالت جامد و ساختار کاواک در حالت دمش جانبی با لامپ درخش.....۸
۲-۱ مقدمه.....۹
۲-۲ دمش.....۱۰
۲-۳ مواد لیزری حالت جامد.....۱۲
۲-۳-۱ مواد میزبان.....۱۲
۲-۳-۲ جامدات شفاف.....۱۲
۲-۴ بلور Nd:YAG.....۱۲
۲-۴-۱ خواص فیزیکی Nd:YAG.....۱۲
۲-۴-۲ خواص لیزری Nd:YAG.....۱۳
۲-۵ منبع دمش لامپ درخش.....۱۴
۲-۵-۱ دمش جانبی با لامپ.....۱۷
۲-۶ بازدهی دمش.....۲۰

فصل سوم: معادله گرما، شرایط مرزی، شرایط اولیه و اثرات گرمایی.....۲۱
۳-۱ مقدمه.....۲۲
۳-۲ معادله انتقال گرما.....۲۲
۳-۳ شرایط مرزی.....۲۴
۳-۴ شرایط اولیه.....۲۵
۳-۵ اثرات گرمایی.....۲۵
۳-۵-۱ تنش‌ها و کرنش‌های گرمایی.....۲۵
۳-۵-۲ تغییرات ضریب شکست وابسته به دما و تنش.....۲۸
۳-۵-۳ عدسی گرمایی.....۳۲

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه
فصل چهارم: حل تحلیلی معادله‌ی گذرای گرما در سیستم دمش جانبی با
شرط مرزی دما ثابت و محاسبه عدسی گرمایی..... ۳۳
۴ـ۱ مقدمه..... ۳۴
۴ـ۲ توزیع دما..... ۳۵
۴ـ۳ نتایج مدل‌سازی..... ۳۹
۴ـ۴ شبیه سازی عددی توزیع دما..... ۴۶
۴ـ۵ توزیع تنش..... ۵۰
۴ـ۶ بررسی ضریب شکست میله لیزری..... ۵۵
۴ـ۷ اثرات انتهایی..... ۵۷
۴ـ۸ نتیجه‌گیری..... ۶۲

فصل پنجم: حل تحلیلی معادله گذرای گرما با شرط مرزی همرفت دما
در سیستم دمش جانبی و محاسبه عدسی گرمایی..... ۶۳
۵ـ۱ مقدمه..... ۶۴
۵ـ۲ توزیع دما..... ۶۴
۵ـ۳ نتایج مدل‌سازی..... ۶۸
۵ـ۴ شبیه سازی عددی توزیع دما..... ۷۲
۵ـ۵ توزیع تنش..... ۷۳
۵ـ۶ بررسی ضریب شکست و عدسی گرمایی میله لیزری..... ۷۸
۵ـ۷ نتیجه‌گیری..... ۸۰

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۸۱

فهرست جداول

عنوان و شماره.....صفحه

جدول ۲-۱ : خواص گرمایی بلور Nd:YAG [۲۵]..... ۱۲
جدول ۲-۲ : خواص فیزیکی و نوری بلور Nd:YAG [۲۵]..... ۱۳
جدول ۲-۳ : مهمترین گذارها در بلور Nd:YAG [۲۵]..... ۱۴
جدول ۴-۱: خواص گرمایی و نوری بلور Nd:YAG در دمای اتاق..... ۴۰

فهرست اشکال

عنوان.....صفحه

شکل شماره (۱-۲): نمودار ترازهای انرژی لیزر سه ترازی..... ۱۰

شکل شماره (۲-۲): نمودار تراز-انرژی یون نئودیمیوم در YAG که گذارهای اصلی لیزری را نشان می‌دهد..... ۱۳

شکل شماره (۳-۲): مدلی از لیزر حالت جامد در دمش از انتها با پهنای باریکه دمش z_0 و شعاع W_{p0} [۲۵]..... ۱۴

شکل شماره (۴-۲): طرح لامپ درخش زنون..... ۱۵

شکل شماره (۵-۲): طیف گسیلی لامپ کریپتون..... ۱۶

شکل شماره (۶-۲): طیف جذبی Nd:YAG از 0.3 تا 0.9 میکرومتر[۲۵]..... ۱۶

شکل شماره (۷-۲): آرایش‌های دمش از پهلو با استفاده از یک و دو لامپ[۲۵]..... ۱۷

شکل شماره (۸-۲): متداولترین سیستم مورد استفاده در دمش نوری..... ۱۸

شکل شماره (۹-۲): کاواک دمش: الف) جفت‌شدگی نزدیک ب) بیضی دوگانه [۲۵]..... ۱۸

شکل شماره (۱۰-۲): کاواک‌های دمش غیرکانونی: (الف) استوانه دایره ای؛ (ب) ساختار تک لامپی با جفت شدگی نزدیک؛ (ج) ساختار دو لامپی با جفت شدگی نزدیک..... ۱۹

شکل شماره (۱-۴): شکل چگالی گرمایی چشمه بصورت تابعی از مکان و زمان (مقیاس ابعاد در سه راستا در مقدار 10^3 ضرب شده است)..... ۳۵

شکل شماره (۲-۴): منحنی تغییرات دما بصورت تابعی از مکان برای $t/\tau = 1$، $t/\tau = 0.8$ و $t/\tau = 0.5$..... ۴۰

شکل شماره (۳-۴): منحنی تغییرات دما بصورت تابعی ازمکان برای $t/\tau = 1, t/\tau = 2, t/\tau = 3$ و $t/\tau = 5$..... ۴۱

شکل شماره (۴-۴): منحنی تغییرات دما بصورت تابعی از مکان برای $t/\tau = 5$، $t/\tau = 10$، $t/\tau = 50$ ، $t/\tau = 300$ و $t/\tau = 800$..... ۴۲

شکل شماره (۵-۴): منحنی تغییرات دما بصورت تابعی از مکان برای $t/\tau = 800$، $t/\tau = 900$، $t/\tau = 1000$ ، $t/\tau = 1500$ ، $t/\tau = 2000$ و $t/\tau = 5000$..... ۴۳

شکل شماره (۶-۴): منحنی تغییرات دما بصورت تابعی از زمان برای $r = 0$، $r = 0.1$ و $r = 0.2$..... ۴۴

شکل شماره (۷-۴): منحنی تغییرات دما بصورت تابعی از زمان برای $r = 0.2cm$ ، $r = 0.25cm$، $r = 0.27cm$، $r = 0.275cm$ و $r = 0$..... ۴۵

شکل شماره (۸-۴): شبیه سازی توزیع دما در زمان $t = 500\tau$ یا $t = 0.075$ ثانیه (رسم برشی)..... ۴۷

شکل شماره (۹-۴): شبیه سازی توزیع دما در زمان $t = 500\tau$ یا $t = 0.075$ ثانیه (رسم زیرحوزه‌ای)..... ۴۷

شکل شماره (۱۰-۴): توزیع دمای بلور از روش تحلیلی (منحنی توپر) و روش عددی (منحنی خط‌چین) در زمان $t = 500\tau$..... ۴۸

شکل شماره (۱۱-۴): توزیع دمای بلور از روش تحلیلی (منحنی خطچین) و روش عددی (منحنی توپر) در زمان $t = 1200\tau$..... ۴۸

شکل شماره (۱۲-۴): شبیه سازی توزیع دما در زمان $t = 1200\tau$ یا $t = 0.18$ ثانیه (رسم برشی)..... ۴۹

عنوان.....صفحه

شکل شماره (۴-۱۳): شبیه سازی توزیع دما در زمان $t=1200\tau$ یا $t=0.18$ ثانیه (رسم زیرحوزه‌ای).....۴۹

شکل شماره (۴-۱۴): منحنی تنش شعاعی بصورت تابعی از شعاع در $t/\tau=1, t/\tau=2$ ، $t/\tau=50$ ، $t/\tau=300$ و ۵۱

شکل شماره (۴-۱۵): منحنی تنش شعاعی بصورت تابعی از شعاع در $t/\tau=500$ ، $t/\tau=800$ ، $t/\tau=1200$ و $t/\tau=2500$ ۵۱

شکل شماره (۴-۱۶): منحنی تنش مماسی بصورت تابعی از شعاع در $t/\tau=1, t/\tau=2$ ، $t/\tau=50$ و $t/\tau=300$ ۵۲

شکل شماره (۴-۱۷): منحنی تنش مماسی بصورت تابعی از شعاع در میله لیزری برای $t/\tau=500$ ، $t/\tau=800$ ، $t/\tau=1200$ و $t/\tau=2500$ ۵۲

شکل شماره (۴-۱۸): منحنی تنش طولی بصورت تابعی از شعاع در میله لیزری برای $t/\tau=1$ ، $t/\tau=2$ ، $t/\tau=50$ و $t/\tau=300$ ۵۳

شکل شماره (۴-۱۹): منحنی تنش طولی بصورت تابعی از شعاع در میله لیزری برای $t/\tau=500$ ، $t/\tau=800$ ، $t/\tau=1200$ و $t/\tau=2500$ ۵۳

شکل شماره (۴-۲۰): اختلاف فاز مطلق (منحنی نقطه چین) و اختلاف فاز در تقریب پیرامحوری یا اختلاف فاز کروی (منحنی توپر) بر حسب شعاع میله در زمان $t/\tau=10$ ۵۶

شکل شماره (۴-۲۱): اختلاف فاز مطلق (منحنی نقطه چین) و اختلاف فاز در تقریب پیرامحوری یا اختلاف فاز کروی (منحنی توپر) بر حسب شعاع میله در زمان $t/\tau=1200$ ۵۷

شکل شماره (۴-۲۲): فاصله کانونی ناشی از اثر پاشندگی گرمایی بر حسب انرژی دمش در $t/\tau=1$ ، $t/\tau=10$ ، $t/\tau=50$ و $t/\tau=200$ ۵۸

شکل شماره (۴-۲۳): فاصله کانونی ناشی از اثر پاشندگی گرمایی بر حسب انرژی دمش در $t/\tau=500$ ، $t/\tau=1000$ ، $t/\tau=1500$ و $t/\tau=5000$ ۵۸

شکل (۴-۲۴): فاصله کانونی ناشی از اثر انتها بر حسب انرژی دمش در $t/\tau=100$ ، $t/\tau=500$ ، $t/\tau=1000$ ، $t/\tau=1500$ و $t/\tau=5000$ ۶۰

شکل شماره (۴-۲۵): فاصله کانونی ناشی از پاشندگی گرمایی (منحنی توپر) وفاصله کانونی ناشی از اثر انتها (منحنی خطچین) بر حسب انرژی دمش در $t/\tau=500$ ۶۱

شکل شماره (۴-۲۶): فاصله کانونی ناشی از پاشندگی گرمایی (منحنی توپر) و فاصله کانونی ناشی از اثر انتها (منحنی خطچین) بر حسب انرژی دمش در $t/\tau=1500$ ۶۱

شکل شماره (۵-۱): منحنی توزیع تغییرات دما بصورت تابعی از شعاع میله برای $A=6.55$ ($h=2.5\times10^4 W/m^2K$) در $t/\tau=0.5$ ، $t/\tau=1$ ، $t/\tau=3$ ، $t/\tau=5$ و $t/\tau=100$ ۶۸

شکل شماره (۵-۲): منحنی توزیع تغییرات دما بصورت تابعی از شعاع برای $A=6.55$ ($h=2.5\times10^4 W/m^2K$) در $t/\tau=500$ ، $t/\tau=1000$ ، $t/\tau=2000$ و $t/\tau=4000$ ۶۹

عنوان..... صفحه

شکل شماره (۵-۳): منحنی توزیع تغییرات دما بصورت تابعی از شعاع برای $A = 0.00262$ ($h = 10W/m^2K$) در $t/\tau = 1$ ، $t/\tau = 5$ ، $t/\tau = 100$ و $t/\tau = 500$ ۶۹

شکل شماره (۵-۴): منحنی توزیع تغییرات دما بصورت تابعی از شعاع برای $A = 0.00262$ ($h = 10W/m^2K$) در $t/\tau = 5000$ ، $t/\tau = 7000$ و $t/\tau = 10000$ ۷۰

شکل شماره (۵-۵): منحنی تغییرات دما بصورت تابعی از مکان برای مقادیر $A = 0.00262$ ، $A = 6.55$ و $A = \infty$ در $t/\tau = 500$ ۷۱

شکل شماره (۵-۶): منحنی تغییرات دما بصورت تابعی از مکان برای مقادیر $A = \infty$ ، $A = 6.55$ و $A = 0.00262$ در $t/\tau = 1200$ ۷۱

شکل شماره (۵-۷): شبیه‌سازی توزیع دما درون میله لیزری برای $h = 2.5W/cm^2K$ در $t = 500\tau$ ($t = 0.075$ ثانیه)، (رسم برشی)..... ۷۲

شکل شماره (۵-۸): شبیه‌سازی توزیع دما درون میله لیزری برای $h = 2.5W/cm^2K$ در $t = 500\tau$ ($t = 0.075$ ثانیه)، (رسم زیرحوزه‌ای)..... ۷۳

شکل شماره (۵-۹): توزیع دمای بلور از روش تحلیلی (منحنی توپر) و روش عددی (منحنی خطچین) برای $A = 6.55$ ($h = 2.5\times10^4 W/m^2K$) در زمان $t = 500\tau$ ۷۳

شکل شماره (۵-۱۰): منحنی تنش شعاعی، مماسی و طولی بصورت تابعی از مکان برای $A = 0.00262$ ($h = 10W/m^2K$) در $t/\tau = 1$ ۷۵

شکل شماره (۵-۱۱): منحنی تنش شعاعی، مماسی و طولی بصورت تابعی از مکان برای $A = 6.55$ ($h = 2.5\times10^4 W/m^2K$) در $t/\tau = 1$ ۷۵

شکل شماره (۵-۱۲): منحنی تنش شعاعی، مماسی و محوری بصورت تابعی از مکان برای $A = \infty$ در $t/\tau = 1$ ۷۶

شکل شماره (۵-۱۳): منحنی تنش شعاعی، مماسی و طولی بصورت تابعی از مکان برای $A = 0.00262$ ($h = 10W/m^2K$) در $t/\tau = 1000$ ۷۷

شکل شماره (۵-۱۴): منحنی تنش شعاعی، مماسی و محوری بصورت تابعی از مکان برای $A = 6.55$ ($h = 2.5\times10^4 W/m^2K$) در $t/\tau = 1000$ ۷۷

شکل شماره (۵-۱۵): فاصله کانونی ناشی از اثر پاشندگی گرمایی برای دو مقدار $A = 6.55$ و $A = 0.00262$ در $t/\tau = 1$ ۷۹

شکل شماره (۵-۱۶): فاصله کانونی ناشی از اثر پاشندگی گرمایی برای دو مقدار $A = 6.55$ و $A = 0.00262$ در $t/\tau = 2000$ ۷۹

شکل شماره (۵-۱۷): فاصله کانونی ناشی از اثر پاشندگی گرمایی برای دو مقدار $A = \infty$ (منحنی توپر و خط-نقطه‌چین)و $A = \infty$ (منحنی خطچین و نقطه‌چین) در $t/\tau = 1000$ و $t/\tau = 2000$ ۸۰

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

یکی از خصوصیات مهم یک پرتو لیزری کیفیت[1] آن است. در بسیاری از کاربردهای صنعتی و پزشکی کیفیت پرتو لیزری بسیار حائز اهمیت است و باید به گونه‌ای دقیق و ظریف از سوی طراحان و سازندگان این قبیل پرتوها مدنظر قرار گیرد. یکی از عوامل کاهش کیفیت پرتو لیزری گرمای تولید شده در ماده فعال در اثر دمش است. این گرما باعث تغییرات فیزیکی عمده‌ای در ماده فعال لیزری از قبیل تغییرات دما، تنش القائی، تغییر ضریب شکست ماده می‌گردد که هرکدام به نوبه خود اثرات مخربی در کیفیت پرتو لیزری خواهند داشت. برای کاهش این اثرات مخرب تاکنون تحقیقات زیادی انجام گرفته است ولی عمده آن‌ها معطوف به حالت‌هایی بوده است که دمش نوری لیزر مربوطه پیوسته و یا پالس کوتاه بوده است. در این رساله، موردی را بررسی میکنیم که دمش یک پالس بلند است.

با توجه به اینکه تابش فلورسانس مکانیسم اصلی تبدیل پرتوهای دمش با طول موج کمتر به پرتوهای لیزری با طول موج بیشتر است، حداقل هفت مکانیسم را می‌توان نام برد که مسئول تولید گرما در این محیط‌ها هستند[۲]:

۱- بازده کوانتومی کمتر از واحد تراز دمش

۲- ناکارآمدی کوانتومی بین تراز دمش و تراز نیمه پایدار

۳- بازده کوانتومی کمتر از واحد تراز نیمه پایدار

۴- فروکش تراکمی

۵- انتقال بالاسوی انرژی

۶- گرمای همراه با فرآیند فلورسانس

۷- گرمای همراه با گسیل القایی

در نظر گرفتن روش مناسب انتقال حرارت و کاهش آثار گرمایی ناشی از تغییرات دما در طول محیط فعال لیزری، در افزایش توان خروجی لیزر و بالا بردن کیفیت پرتو بسیار مؤثر است. گرمای جذب شده در حجم بلور، توسط خنک ساز، از روی سطح بلور برداشته می‌شود و این باعث ایجاد تغییرات دمایی در بلور می‌شود. این توزیع غیر یکنواخت در بلور، اثر خود را به صورت اعوجاج در پرتو خروجی لیزر نشان می‌دهد.

در دمش تک پالسی، اعوجاج نوری نتیجه‌ی تغییرات دمایی ناشی از جذب نور غیر یکنواخت توسط ماده‌ی لیزری است.

---

[1]- Beam Quality

گرمای تولید شده در محیط لیزری برای رسیدن به تعادل گرمایی با محیط اطراف، به طرف مرزهای خنک‌تر حرکت کرده و در آنجا از طریق فرایندهای همرفت و تابش به محیط منتقل می‌شود. این اتفاق باعث ایجاد یک توزیع نایکنواخت دما در محیط لیزری می‌شود. نتیجه‌ی توزیع نایکنواخت دما، پاشندگی گرمایی[1] است که بصورت $n = n_0 + \frac{\partial n}{\partial T}\Delta T$ بیان می‌شود، انحنای سطوح بلور[2] که گاهی اثر انتها[3] نیز نامیده می‌شود و تنش‌ها و کرنش‌های گرمایی و گاهی اوقات شکستگی بلور است. هر کدام از موارد بالا، باعث القای اثراتی روی پرتو لیزری می‌شوند. پاشندگی گرمایی به همراه اثر انتها که در واقع از مولفه‌ی طولی تنش ناشی می‌شود، باعث القای اختلاف فاز بین پرتوهای عبوری روی محور بلور و پرتوهای عبوری از سایر فواصل می‌شوند. در محیط‌های بلوری جامد، پاشندگی گرمایی شبیه یک عدسی محدب عمل می‌کند[۱].

اثر انتها در مواردی که انتهای بلور لایه نشانی شده باشد، مانند یک آینه و در غیر این صورت شبیه یک عدسی محدب عمل می‌کند. شکل عدسی القا شده، کاملا به نمایه دمش بستگی دارد. نمایه منابع دمش حالت جامد در توان‌های پایین و تک مد، گاوسی است. در توان‌های بالا، برای دمش‌های چند مدی، نمایه‌ی دمش یک تابع سوپر گاوسی مرتبه چهار یا بالاتر است. برخی از مولفین برای سادگی در محاسبات و مدل‌سازی از نمایه‌های تاپ هت[4] استفاده کرده‌اند.

از دیگر اثرات گرمایی، دوشکستی القایی دربلورهای همسانگرد است. دو شکستی اثر مستقیم تنش و کرنش گرمایی است. انبساط‌های نایکنواخت ماده لیزری، باعث تغییر خواص نوری ماده مورد نظر می‌شود. در این زمینه، خواص مکانیکی نظیر سختی بلور و حد شکست، خواص گرمایی نظیر رسانندگی گرمایی و ظرفیت گرمایی ویژه و خواص نوری اولیه که به مواد تشکیل دهنده و ساختار بلور از نظر بلورشناختی مربوط می‌شوند، از اهمیت بسیار بالایی برخوردارند[۱]. دوشکستی باعث واقطبیدگی پرتوهای قطبیده خطی خارج شده از لیزر می‌شود. اهمیت این موضوع زمانی آشکار می‌شود که هدف از طراحی لیزر، تولید یک پرتو قطبیده پرتوان باشد.

نتیجه تمام بحث‌های بالا، کاهش کیفیت پرتو و اعوجاج جبهه موج[5] پرتو است. یک لیزر پرتوان با کیفیت خوب برای بسیاری از کاربردهای صنعتی لازم است. انحراف نمایه پرتو لیزری از حالت استاندارد، موضوعی است که باید در نظر گرفته شود[۱].

اگر افزایش دما باعث ذوب بلور نشود، قطعاً بازده لیزر را کاهش می‌دهد. دلیل این اتفاق کاهش نیمه عمر ترازهای برانگیخته و افزایش جمعیت تراز زمینه است[۳].

---

[1]. Thermal dispersion
[2]. Surface bending
[3]. End effect
[4]. Top-hat profile
[5]. Wave-front distortion

شاید در نگاه اول بنظر برسد که استفاده از سیستم‌های خنک‌کننده می‌تواند چاره ساز باشد. البته در این زمینه نیز کارهایی انجام شده است که در آن با ارائه پیکربندی‌های مناسب سعی شده است اثرات گرمایی کاهش داده شود[۴]. در بهترین حالت که سیستم خنک‌کننده کامل است و توانایی برداشتن مقدار زیادی گرما از سطح را دارد، می‌تواند دمای سطح بلور را همواره ثابت و یا برابر دمای محیط نگه دارد. تحت این شرایط دمای کلی بلور در مقایسه با حالتی که خنک‌کننده وجود ندارد، به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد، ولی هنوز تغییرات دمایی[1] وجود دارد که اثراتی مهم‌تر از یکنواختی دما دارد[۱].

[1]. Temperature gradient

۱-۲ مروری بر تحقیقات گذشته

از زمانی که اولین بار اثر عدسی گرمایی القایی توسط گوردون و همکارانش در آزمایشگاه بل مشاهده و گزارش شد[۵]، تاکنون تحقیقات زیادی به این موضوع اختصاص داده شده است.
هنگامی که گوردون در سال ۱۹٦۵ نمونه حاوی مایع را در کاواک لیزر هلیوم- نئون نصب کرد و نمونه را تحت تابش پرتوهای قرمزرنگ با طول موج 6328Å قرار داد، اثر شبه عدسی وابسته به زمان و در حال افزایشی را مشاهده کرد که آن‌را به جذب و انباشت انرژی در نمونه نسبت داد. او این اثر را در جامدات شفاف نیز مشاهده کرد. او برای اولین بار از کمیت dn/dT نام برد و برای مایعات آن را از مرتبه $\propto -10^{-3}$ اندازه‌گیری کرد. اگر چه افراد نظیر کویی‌له[۶] و اوسترینگ و فوستر[۷] در سال‌های ۱۹۶۶ و ۱۹۶۷ در زمینه اثرات گرمایی در لیزرهای حالت جامد، تحقیقاتی انجام داده‌اند، و از اعوجاج گرمایی نام برده‌اند، ولی همگان نام والتر کوچنر را به عنوان پیشگام در ارائه اولین مدل‌های گرمایی در لیزرهای حالت جامد Nd:YAG می‌شناسند[۸]و[۹]، کوچنر در اولین مدل‌سازی‌هایش با در نظر گرفتن دمش یک طرفه، یکنواخت و سراسری میله لیزری Nd:YAG و حل معادله گرما برای میله‌های بلند در حالت‌های گذرا و پایا، توانست توزیع دما را بدست آورد.
او در ادامه با وارد کردن مباحث تنش و کرنش، روابطی برای دوشکستی-القایی ارائه داد. خوشبختانه در آن زمان ضرایب فوتوالاستیک این بلور اندازه‌گیری و گزارش شده بود.
کلاً کسانی که در زمینه بررسی اثرات گرمایی کار کرده‌اند را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد:
گروه اول کسانی که با ادامه کار کوچنر این اثرات را در لیزرها بررسی کرده و رفته‌رفته مدل‌های جامع‌تری برای حالت پایا ارائه داده‌اند، گروه دوم در راستای استفاده از اثرات گرمایی برای اندازه‌گیری کمیت‌های مختلف، به سمت ارائه مدل‌های جامع‌تر گام برداشته‌اند[۱]. در این گروه می‌توان از هیو و وی‌نری نام برد که عبارتی برای تغییر شدت یک پرتو گاوسی هنگام عبور از یک محیط عدسی شده در میدان دور، ارائه داده‌اند[۱۰]. بعد از یکسری تحقیقاتی که انجام شد، فرخ و همکارانش در ۱۹۸۸، توانستند معادله گرما را در حالت گذرا برای دمش یک پالس در میله استوانه‌ای حل کنند[۱۱] و [۱۲]. در این کار آنها نمایه‌های گاوسی و تاپ-هات را برای میله‌ای با طول متناهی به کار بردند و شرط سرمایش از طریق همرفت را برای تمام سطوح به کار بردند. در مقاله‌ای که ارائه دادند تنش و دیگر اثرات گرمایی بررسی نشده بود. فیلدز و همکارانش در ۱۹۹۰ توزیع دما را در یک میله استوانه‌ای در شرایط پایا و با فرض اینکه هیچ رسانش گرمایی در راستای طولی بلور وجود ندارد، برای دمش گاوسی محاسبه کردند[۱۳]. فیستنر و همکارانش در ۱۹۹٤ با استفاده از روش عناصر محدود[1] توزیع دما، تنش و کرنش را برای یک میله با طول متناهی بدست

[1] . Finite element method

آورده و دوشکستی گرمایی را برای برخی بلورها از جمله Nd:YAG به روش عددی محاسبه کردند[۱۴]. زای و همکارانش در سال ۲۰۰۰ با در نظر گرفتن یک مدل گرمایی بر اساس چگالی گرمایی گاوسی در هر سطح مقطع از میله لیزری، فاصله کانونی گرمایی در لیزر حالت جامد با دمش جانبی دیودی را بررسی کرده و نشان دادند که با افزایش پهنای باریکه دمش توسط چهار آرایه دیودی متقارن اطراف میله، توزیع انرژی درون میله یکنواخت‌تر شده و فاصله کانونی بلندتر می‌شود[۱۵]. همچنین کوبک و همکارانش نشان دادند که در یک لیزر Nd:YAG با دمش لامپ درخش، می‌توان با استفاده از ترکیب بازخورد منفی فعال GaAs و Cr:YAG به عنوان مواد جاذب اشباع پذیر درون لیزر Nd:YAG با قفل شدگی مد فعال، قطاری از پالس‌های لیزری با طول و پایداری $۱۵۰ns$ بوجود آورد و منجر به تراکم هر پالس از ۸۳ps به ۴۸ps شد[۱۶]. در سال ۲۰۰۵، هنریکسون و همکارانش با استفاده از روش عناصر محدود برای میله لیزری و کاواک دمش، عدسی گرمایی، دوشکستی و مدل نوری فیزیکی لیزری با قطبش کامل را بررسی کرده، این مدل به بررسی دینامیک چندین بازه زمانی متفاوت پرداخته و نتایج شبیه سازی‌شان را با داده‌های تجربی از یک لیزر Nd:YAG پمپ شده با لامپ درخش مقایسه کرده‌اند[۱۷]. بونفویس و همکارانش به بررسی عدسی گرمایی و ابیراهی کروی در میله لیزری پرتوان با دمش عرضی پرداخته و اهمیت وابستگی دمایی خواص فیزیکی محیط بهره همچون رسانندگی گرمایی، $\frac{dn}{dT}$ و ضریب انبساط گرمایی را به ابیراهی گرمایی و مقادیر عدسی گرمایی نشان دادند و محاسبات خود را با نتایج تجربی مقایسه و توافق خوبی را مشاهده کرده‌اند[۱۸]. نادگران و صبائیان در سال ۲۰۰۶ با در نظر گرفتن نمایه مرتبه چهار سوپر گاوسی برای پالس‌های کوتاه، توزیع دما، پاشندگی گرمایی و اثر انتها را به همراه تحولات زمانی آن‌ها برای یک بلور Ti:Sapphire با طول متناهی محاسبه کردند و نشان دادند که برای لیزرهای حالت جامد، تقریب پالس‌های تاپ-هت به نتایج واقعی منجر نمی‌شود[۱۹]. علاوه بر موارد فوق، سویزی و مسعودی نیز در سال ۲۰۰۷ با استفاده از روش عناصر مرزی به بررسی عددی توزیع دما در بلور Nd:YAG پرداختند[۲۰]. در سال ۲۰۰۸ لی و کیم پارامترهای خروجی از یک لیزر Nd:YAG عمل‌کننده در طول موج ۱۴۴۴ نانومتر که توسط لامپ‌های درخش کریپتون و زنون پمپ شده را گزارش کرده و همچنین نشان دادند که در این طول موج، انرژی خروجی به دمای آب خنک‌کننده بستگی دارد[۲۱]. و در ادامه نوسان همزمان طول موج دوتایی در ۱۴۴۴ و ۱۳۵۷ نانومتر در بلور Nd:YAG با منبع دمش لامپ درخش کریپتون را بررسی کرده و میزان پایایی انرژی خروجی در عملکرد طول موج دوتایی را ٪۱/۴۱ تعیین کرده‌اند[۲۲]. اخیراً تحقیقات گسترده‌ای در جهت افزایش بازدهی لیزرهای حالت جامد با دمش پالسی لامپ درخش با استفاده از رنگینه‌های جامد انجام پذیرفته است، خلیل زاده و همکارانش برای اولین بار، مبدل‌های جامدی تهیه کرده که با تعبیه آن در داخل بازتابگر کاواک لیزرهای حالت جامد، حاوی یون‌های Nd باعث شده‌اند تا بازدهی آن‌ها به مقدار قابل ملاحظه‌ای (تا ۴۰٪) افزایش یابد، در این فرآیند قسمت غیر

مفید تابشی لامپ درخش توسط مولکولهای رنگی، جذب شده و سپس در طول موج‌های بلندتری بازتابش شده و در جایی که خط جذب باریک یونهای Nd حدود ۵۸۰ nm است، بطور کاراتری مورد استفاده قرار می‌گیرد[۲۳].

۱-۳ آنچه در این پایان‌نامه خواهد آمد

تا جایی که به اطلاعات ما بر می‌گردد، برای معادله گرما در دمش‌های پالس بلند و با در نظر گرفتن جذب شعاعی، جواب تحلیلی گزارش نشده است. در اینجا هدف، بررسی اثرات گرمایی و تبیین اهمیت آن روی سیستم‌های نوری و لیزری است.

فصل دوم این پایان‌نامه شامل معرفی کامل لیزرهای حالت جامد و خواص آن‌ها، معرفی انواع ساختار حفره بیضوی، بررسی عملکرد دمش از پهلو و انواع بازدهی دمش می‌باشد. فصل سوم به معرفی معادله گرما در حالت‌های مختلف همراه با شرط‌مرزی‌های متنوع می‌پردازد و سپس اثرات گرمایی به‌طور خلاصه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فصل چهارم توزیع دما برای لیزر حالت جامد Nd:YAG با دمش جانبی لامپ درخش تک پالس بلند محاسبه شده است. در معادله گرما برای چشمه گرمایی- با فرض طول پالس $150\mu s$- عبارتی بصورت حاصلضرب یک تابع گاوسی از زمان در یک تابع نمایی از مکان تقریب زده شده و سپس با توجه به شرط مرزی دمای ثابت (فرض یک سیستم خنک‌کننده ایده‌ال با ضریب همرفت نامتناهی)، تابع دما را بصورت حاصلضرب تابع مکانی بسل در یک تابع زمانی مجهول پیش‌بینی کرده که قسمت زمانی آن با توجه به شرط اولیه و با حل معادله بدست آمده است. در ادامه برای اطمینان، شکل توزیع دمای بدست آمده از حل تحلیلی با شکل توزیع دمای بدست آمده از حل عددی به روش عناصر محدود، با یکدیگر مقایسه شده و توافق خوبی مشاهده شد. سپس از روی تابع دما، تنش‌های القایی شعاعی، مماسی و طولی درون میله بدست آمده و با محاسبه تغییرات ضریب شکست و اختلاف فاز ناشی از آن، فاصله کانونی ناشی از اثر پاشندگی گرمایی و اثر انتها بدست آمده است. در فصل پنجم توزیع دما تحت شرط مرزی همرفت دما محاسبه شد و سپس توزیع دما، تنش‌های القایی و اثر لنز گرمایی برای سیستم‌های خنک‌کننده مختلف، با یکدیگر مقایسه شده و نتیجه شد که در یک سیستم خنک کننده با ضریب همرفت بالاتر، انباشت گرما درون میله کمتر و میزان تنش ناشی از توزیع غیر یکنواخت دما کاهش یافته، در نتیجه کیفیت پرتوی لیزری خروجی از کریستال افزایش می‌یابد.

فصل دوم

لیزرهای حالت جامد و ساختار حفره لیزری در حالت دمش جانبی با لامپ